

УДК 629.072.19

В.І. Грабчак, В.В. Прокопенко

Академія сухопутних військ, Львів

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ МЕТОДІВ ПРИВЕДЕННЯ ТА НОРМАЛІЗАЦІЇ ВИМІРЯНОЇ ШВИДКОСТІ ПОЛЬОТУ СНАРЯДА

У статті проведена оцінка точності визначення відхилення початкової швидкості снаряда при різних методах її приведення та нормалізації. Запропоновані аналітичні залежності оцінки точності методів приведення та нормалізації вимірюваної початкової швидкості польоту снаряда, які дозволяють провести розрахунки серединних помилок цих методів під час визначення установок для стрільби способом повної підготовки. Наведені результати розрахунків серединної помилки відхилення початкової швидкості та сумарного відхилення початкової швидкості снаряда при різних методах її приведення та нормалізації для 152-мм СГ 2С3М і 122-мм Г Д-30.

Ключові слова: балістична станція, методи приведення та нормалізації, серединні помилки, сумарне відхилення початкової швидкості польоту снаряда.

Вступ

Постановка задачі та аналіз літератури. Повна підготовка є основним та найбільш точним способом визначення установок для стрільби артилерії, головною перевагою якої є забезпечення раптовості відкриття вогню на ураження. Проведені дослідження впливу помилок на точність повної підготовки показали, що основними джерелами, які вносять найбільшу частку в сумарну помилку повної підготовки на середні та максимальні дальності польоту снарядів, є помилки балістичної підготовки, а саме помилка визначення початкової швидкості польоту снаряда [1 – 3]. Проведений аналіз стану і перспектив розвитку засобів і методів щодо визначення початкової швидкості польоту снарядів показав, що найбільшу точність визначення сумарного відхилення початкової швидкості снарядів забезпечують артилерійські балістичні станції (БС) доплерівського типу, існуючі методи визначення сумарного відхилення початкової швидкості польоту снаряда від її табличного значення, яких не враховують умови вильоту снаряда із каналу ствола, які визначають характер нутаційних коливань снаряда на траєкторії, що суттєво впливає на швидкість та відповідно дальність польоту снарядів. Проведені розрахунки [4] показують, що нутаційні коливання снаряда затухають у міру віддалення снаряда від точки вильоту і починаючи з деякої точки траєкторії, рух осі снаряда набуває характер псевдорегулярної прецесії з кутом нутації порядку 3 – 4°, для 122-мм Г Д-30 точка затухання знаходиться на відстані до 2000 м, 152-мм СГ 2С3М – до 1800 м. В роботі [5] запропоновані: метод приведення вимірюваної початкової швидкості польоту снаряда до дульного зрізу ствола, який застосовує регресійну модель з апроксимацією вимірювальних значень початкової швидкості поліномом 2-го ступеня; метод нормалі-

зації вимірюваної початкової швидкості польоту снаряда, який дозволяє врахувати метеорологічні та балістичні умови польоту снаряда на ділянці вимірювання швидкості до 2500 м.

Важливим питанням подальших досліджень є оцінка точності визначення сумарного відхилення початкової швидкості снаряда при різних методах її приведення та нормалізації на відстанях до 2500 м.

Метою статті є розробка аналітичних залежностей оцінки точності приведення та нормалізації вимірюваної початкової швидкості польоту снаряда. Розрахунок та оцінка серединної помилки відхилення початкової швидкості та сумарного відхилення початкової швидкості польоту снаряда при різних методах її приведення та нормалізації для 152-мм СГ 2С3М і 122-мм Г Д-30.

Основна частина

1. Оцінка точності визначення відхилення початкової швидкості снаряда при різних методах її приведення. Для приведення вимірюваної швидкості польоту снаряда до дульного зрізу ствола гармати в сучасних БС застосовується метод, який заснований на допущенні, що швидкість снаряда від точки вильоту до точки вимірювання змінюється за лінійним законом [1, 5]

$$V_i = at_i + b, \quad (1)$$

де a , b – коефіцієнти регресії.

Одним з найбільш точним методом визначення коефіцієнти регресії є метод найменших квадратів [6, 7], відповідно до якого коефіцієнти регресії a , b полінома (1) визначаються так, щоб сума квадратів різниці значень V_i , які отримані експериментально (вимірюються БС), і значеннями апроксимованої функції $V^{\text{анп}}(t_i)$ була б найменшою на заданій системі точок, тобто

$$S = \sum_{i=1}^n [V^{\text{анп}}(t_i) - V_i]^2 = \sum_{i=1}^n [(at_i + b) - V_i]^2, \quad (2)$$

знаходження суми тут проводиться від $i=1$ до $i=n$, тобто по всіх точках вимірювання швидкості польоту снаряда.

Необхідною умовою існування мінімуму функції є рівність нулю часткових похідних по невідомим параметрах a і b . Знайдемо для функції (2) часткові похідні за a і b та прирівняємо їх до нуля, отримаємо

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n [(at_i + b) - V_i] t_i = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n [(at_i + b) - V_i] = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Перетворимо систему рівнянь (3) до стандартної форми нормальних рівнянь

$$\begin{cases} na + b \cdot \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n t_i V_i, \\ a \cdot \sum_{i=1}^n t_i + b \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n t_i V_i. \end{cases} \quad (4)$$

Значення змінних t_i та V_i можуть бути виміряні у відхиленнях від середнього значення, тобто як $t_i - \bar{T}$; $V_i - \bar{V}$. Позначимо ці різниці як t'_i та V'_i відповідно. Система нормальних рівнянь (4) спроститься до виразу

$$b \cdot \sum_{i=1}^n (t'_i)^2 = \sum_{i=1}^n t'_i V'_i, \quad (5)$$

так як $\sum_{i=1}^n t'_i = 0$ та $\sum_{i=1}^n V'_i = 0$. Вирішення рівняння (5) відносно b дає

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n t'_i V'_i}{\sum_{i=1}^n (t'_i)^2}. \quad (6)$$

Необхідні для розрахунку параметра b вирази можуть бути отримані за наступними формулами

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (t'_i)^2 &= \sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n t_i\right)^2}{n}; \\ \sum_{i=1}^n t'_i V'_i &= \sum_{i=1}^n t_i V_i - \frac{\sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n V_i}{n}. \end{aligned} \quad (7)$$

Дійсні значення залежної змінної не будуть збігатися з розрахунковими, так як сама функція регресії описує взаємозв'язок лише в середньому, в загальному. Таким чином, надійність розрахункових даних, що отримуються за рівнянням регресії, значно визначається розсіюванням значень V_i навколо лінії регресії. В якості міри розсіювання приймемо

загальну характеристику розсіювання – дисперсію відносно лінії регресії. Для її визначення знайдемо суму квадратів відхилень фактичних вимірів V_i від лінії регресії

$$S_V^2 = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2}, \quad (8)$$

де e_i – різниця між значеннями V_i , які отримані експериментально (вимірюються БС), і значеннями апроксимованої функції $V^{\text{анп}}(t_i)$.

Число ступенів свободи дорівнює $n-2$, так як дві ступеня свободи втрачаються при визначенні двох параметрів рівняння прямої.

Не розраховуючи значення $V^{\text{анп}}(t_i) - V_i$, величину e_i визначимо як

$$e_i = V'_i - bt'_i. \quad (9)$$

Возведемо (9) в квадрат та просумуємо, враховуючи (6), отримаємо

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (V'_i)^2 - b \cdot \sum_{i=1}^n t'_i V'_i, \quad (10)$$

$$\text{де } \sum_{i=1}^n (V'_i)^2 = \sum_{i=1}^n (V_i)^2 - \frac{\sum_{i=1}^n (V_i)^2}{n}.$$

Дисперсію коефіцієнта a парної лінійної регресії знайдемо як [7]

$$S_a^2 = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^2}{n \cdot \sum_{i=1}^n (t'_i)^2} \cdot S_V^2. \quad (11)$$

Очевидно, що дисперсія як характеристика розсіювання знаходиться в прямій залежності від середнього відхилення [8] та визначається як

$$E_x = 0,6745\sqrt{S}.$$

Таким чином, серединна помилка методу приведення вимірюваної швидкості до дульного зрізу ствола гармати при апроксимації початкової швидкості польоту снаряда за допомогою лінійної функції визначається за залежністю

$$E_{\delta_{AV_d}} = 0,6745\sqrt{S_a^2} \cdot \frac{100}{V_{от}}, \text{ в } \% V_0. \quad (12)$$

Проведемо розрахунок серединної помилки методу приведення вимірюваної швидкості до дульного зрізу ствола гармати, при апроксимації початкової швидкості польоту снаряда ступеневим поліномом 2-го ступеня

$$V^{\text{анп}}(t_i) = at_i^2 + bt_i + c, \quad (13)$$

де a, b, c – коефіцієнти регресії.

Для цього відповідно до [7] представимо (13) у

вигляді системи нормальних рівнянь у матричній формі, для цього введемо ряд векторних та матричних позначок.

Прийmemo: $a = (a_j)$, $j = 0, 1, \dots, m$ – вектор невідомих параметрів; $\alpha = (\alpha_j)$, $j = 0, 1, \dots, m$ – вектор оцінок параметрів; $V = (V_i)$, $i = 0, 1, \dots, n$ – вектор значень швидкості польоту снаряда; $T = (t_{ij})$ – матриця значень поточного часу польоту снаряда розмірністю $n \times m$; $\varepsilon = (\varepsilon_i)$, $i = 0, 1, \dots, n$ – вектор помилок; $e = (e_i)$, $i = 0, 1, \dots, n$ – вектор помилок.

Перепишемо регресійну модель (13), використовуючи прийняті матричні позначки

$$V = T\alpha + \varepsilon. \quad (14)$$

Рівняння регресійної моделі з оціненими параметрами

$$V = Ta + e. \quad (15)$$

Суму квадратів відхилень отримаємо наступним чином

$$Q = \sum e_i^2 = e^T e = (V - Ta)^T (V - Ta) = V^T V - a^T T^T V^T - V^T T a + a^T T^T T a.$$

Враховуючи, що $a^T T^T V = V^T T a$ та проводячи диференціювання Q за a , отримаємо

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = -2T^T V + 2(T^T T)a. \quad (16)$$

Прирівняємо (16) до нуля, після чого знаходимо систему нормальних рівнянь, яка в матричній формі має вигляд

$$(T^T T)a = T^T V, \text{ чи } a = (T^T T)^{-1} T^T V, \quad (17)$$

$$\text{де } (T^T T) = \begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n t_i & \sum_{i=1}^n t_i^2 \\ \sum_{i=1}^n t_i & \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i^3 \\ \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i^4 \end{vmatrix}; \quad T^T V = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n V_i \\ \sum_{i=1}^n t_i V_i \\ \sum_{i=1}^n t_i^2 V_i \end{vmatrix}.$$

Оцінку (a) , знайдену за формулою (17), будемо називати оцінкою методу.

Оцінки параметрів множинної регресії будуть відхилятися від істинних їх значень. Для того, щоб виміряти дисперсії оцінок параметрів, знайдемо матрицю коваріацій для a . За визначенням маємо

$$\text{cov}(a) = M[(a - \alpha)(a - \alpha)^T]. \quad (18)$$

З (18) виходить, що елементами головної діагоналі матриці коваріації є дисперсії параметрів a . Тому розглянемо її більше детально. Передусім визначимо, чому дорівнює вираз $(a - \alpha)(a - \alpha)^T$.

З (14) і (17) отримуємо

$$a = (T^T T)^{-1} T^T (Ta + \varepsilon) = a + (T^T T)^{-1} T^T \varepsilon,$$

звідки $a - \alpha + (T^T T)^{-1} T^T \varepsilon$.

Використовуючи знайдений вираз для $(a - \alpha)$, маємо

$$\text{cov}(a) = M[(T^T T)^{-1} T^T \varepsilon \cdot \varepsilon^T \cdot T (T^T T)^{-1}] = M(\varepsilon \cdot \varepsilon^T) (T^T T)^{-1}. \quad (19)$$

Отриманий вираз (19) містить матрицю $M(\varepsilon \cdot \varepsilon^T)$. В ній всі елементи, які не лежать на головній діагоналі, дорівнюють нулю (в силу того, що помилки не корелюють між собою). Оскільки всі помилки мають однакову дисперсію, тому

$$M(\varepsilon \cdot \varepsilon^T) = \sigma^2 \cdot I,$$

де I – одинична матриця.

Підставив знайдене значення $M(\varepsilon \cdot \varepsilon^T)$ в (19), отримаємо

$$\text{cov}(a) = \sigma^2 (T^T T)^{-1}. \quad (20)$$

Матриця коваріації (20) не може бути точно визначена, оскільки в неї окрім оберненої матриці $(T^T T)^{-1}$ входить в якості множника дисперсії помилок σ^2 , значення якої нам не відомо. В якості статистичної оцінки σ^2 можна скористатися спостереженою дисперсією помилок. Прийmemo, що $e = V^{\text{amp}}(t_i) - V_i$, тоді в якості оцінки σ^2 знайдемо

$$S_V^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (V^{\text{amp}}(t_i) - V_i)^2}{n-3} = \frac{\sum_{i=1}^n ((at_i^2 + bt_i + c) - V_i)^2}{n-3} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{|A_1|t_i^2 + |A_2|t_i + |A_3|}{|A|} \right) - V_i \right)^2}{n-3}, \quad (21)$$

де визначники $a = \frac{|A_1|}{|A|}$, $b = \frac{|A_2|}{|A|}$, $c = \frac{|A_3|}{|A|}$ розраховуються методом Крамера;

$$\sum_{i=1}^n t_i^k V_i = \sum_{i=1}^n t_i^k V_i - \frac{\sum_{i=1}^n t_i^k \sum_{i=1}^n V_i}{n}.$$

$$|A| = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n t_i^4 & \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i^2 \\ \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i \\ \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i & n \end{vmatrix}; \quad |A_1| = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n t_i^2 V_i & \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i^2 \\ \sum_{i=1}^n t_i V_i & \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i \\ \sum_{i=1}^n V_i & \sum_{i=1}^n t_i & n \end{vmatrix};$$

$$|A_2| = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n t_i^4 & \sum_{i=1}^n t_i^2 V_i & \sum_{i=1}^n t_i^2 \\ \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i V_i & \sum_{i=1}^n t_i \\ \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n V_i & n \end{vmatrix}; \quad |A_3| = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n t_i^4 & \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i^2 V_i \\ \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i V_i \\ \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i & \sum_{i=1}^n V_i \end{vmatrix}.$$

Знаменник в (21) являє собою число ступенів волі, яке дорівнює числу спостережень без урахування числа оцінюваних параметрів. Як відомо [6, 7], отримана таким чином оцінка σ^2 буде незміщеною і самостійною.

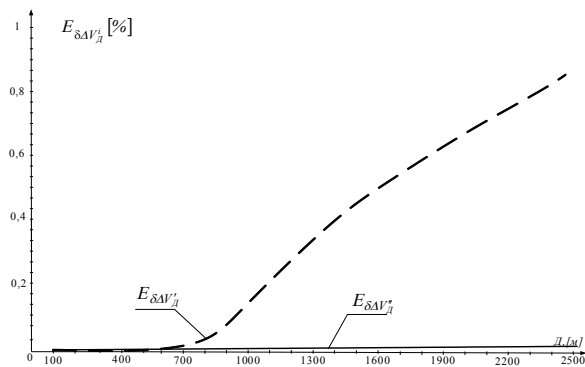
Відповідно до вищезазначеного серединна помилка методу приведення вимірюваної швидкості до дульного зрізу ствола гармати, при апроксимації початкової швидкості польоту снаряда за допомогою функцій ступеневого полінома 2-го ступеня визначається за залежністю

$$E_{\delta_{AV}_d^*} = 0,6745 \sqrt{S_a^2} \cdot \frac{100}{V_{OT}}, \text{ в } \% V_0, \quad (22)$$

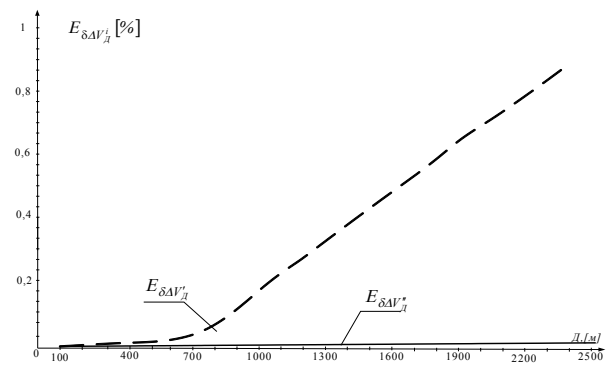
де $S_a^2 = S_V^2 \cdot b$; b – діагональний елемент матриці $(\Gamma^T \Gamma)^{-1}$.

Результати розрахунків серединної помилки методу приведення вимірюваної швидкості до дульного зрізу ствола гармати, при апроксимації початкової швидкості польоту снаряда лінійним поліномом (12) та поліномом 2-го ступеня (22) для 152-мм СГ 2С3М снаряд ОФ-540Ж, 122-мм Г Д-30 снаряд ОФ-462Ж при $n=10, 20, 30$ надані на рис. 1.

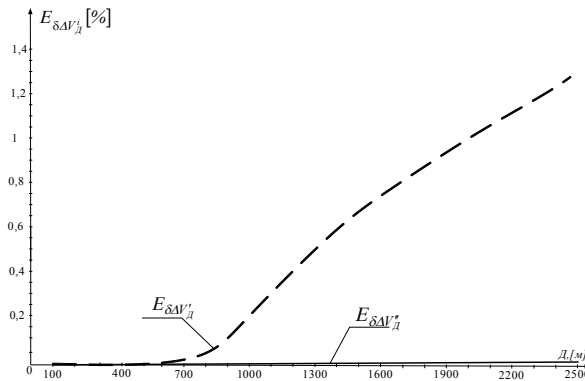
Приведені розрахунки показують, що при стрільбі з 152-мм СГ 2С3М серединні помилки методу приведення вимірюваної швидкості до дульного зрізу ствола гармати, при апроксимації початкової швидкості польоту снаряда лінійним поліномом, на дальностях 1800 – 2500 м, складають 0,61 – 0,87 % V_0 , поліномами 2-го ступеня – 0,01 – 0,04 % V_0 для повного заряду та відповідно 1,31 – 1,85 % V_0 і 0,05 – 0,08 % V_0 для шостого.



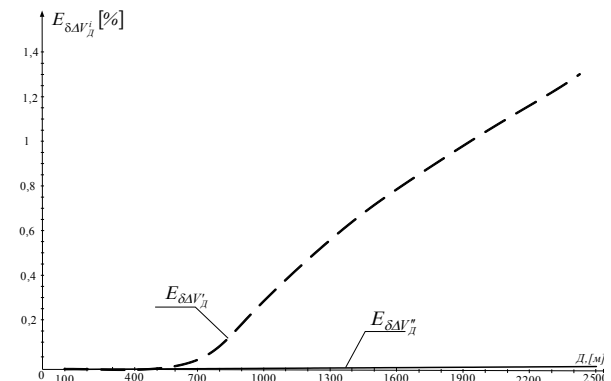
а – 152-мм СГ 2С3М, ОФ-540Ж, заряд повний



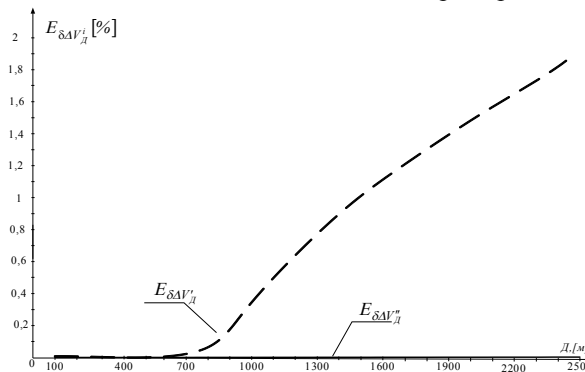
б – 122-мм Г Д-30, ОФ-462Ж, заряд повний



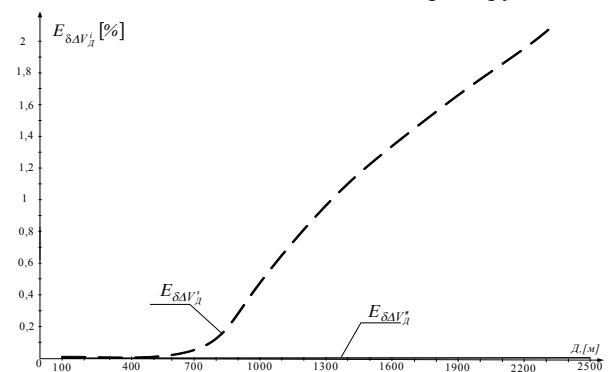
в – 152-мм СГ 2С3М, ОФ-540Ж, заряд третій



г – 122-мм Г Д-30, ОФ-462Ж, заряд другий



д – 152-мм СГ 2С3М, ОФ-540Ж, заряд шостий



ж – 122-мм Г Д-30, ОФ-462Ж, заряд четвертий

Рис. 1. Серединні помилки приведення вимірюваної швидкості польоту снаряда при апроксимації швидкості лінійним поліномом та поліномом 2-го ступеня

При стрільбі 122-мм Г Д-30 серединні помилки складають: лінійним поліномом – 0,57 – 0,84 % V_0 , поліномом 2-го ступеня – 0,01-0,05 % V_0 для повного заряду та відповідно 1,5 – 1,8 % V_0 і 0,06 – 0,07 % V_0 для четвертого.

2. Оцінка точності нормалізації вимірної швидкості польоту снаряда. Середня помилка методу нормалізації при вимірюванні швидкості снаряда за допомогою АБС-1м визначається за залежністю

$$E'_{\delta_{\Delta V_{0H}}} = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial h_0} E_{\Delta h_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \tau} E_{\Delta \tau}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial w_x} E_{\Delta w_x}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial q_c} E_{\Delta q_c}\right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial T_3} E_{\Delta T_3}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial q} E_{\Delta q}\right)^2 \cdot \frac{100}{V_0}, \text{ в } \% V_0 \quad (23)$$

Середня помилка методу нормалізації при застосуванні перспективної БС знайдеться з

$$E''_{\delta_{\Delta V_{0H}}} = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial h_0} E_{\delta_{\Delta h_0}}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \tau} E_{\delta_{\Delta \tau}}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial w_x} E_{\delta_{\Delta w_x}}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial q_c} E_{\delta_{\Delta q_c}}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial T_3} E_{\delta_{\Delta T_3}}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial q} E_{\delta_{\Delta q}}\right)^2 \cdot \frac{100}{V_0}, \text{ в } \% V_0, \quad (24)$$

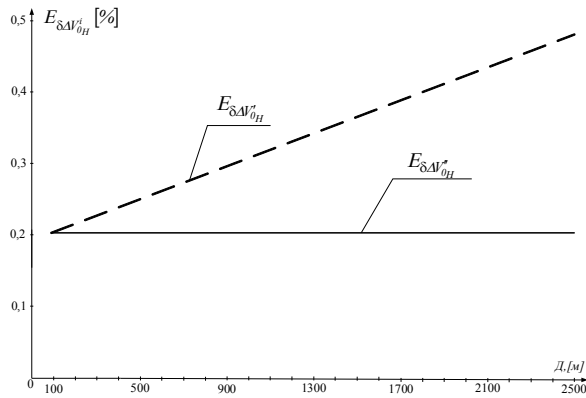
де $\frac{\partial V}{\partial h_0}, \frac{\partial V}{\partial \tau}, \frac{\partial V}{\partial w_x}, \frac{\partial V}{\partial q_c}, \frac{\partial X}{\partial T_3}, \frac{\partial V}{\partial q}$ – поправочні коефіцієнти вимірювання швидкості снаряда при зміні тиску атмосфери на 1 мм.рт.ст., температури повітря

на 1° С, швидкості вітру на 1 м/с, балістичного коефіцієнта на 1 в/зн, температури заряду від табличної, маси снаряда, в в/зн;

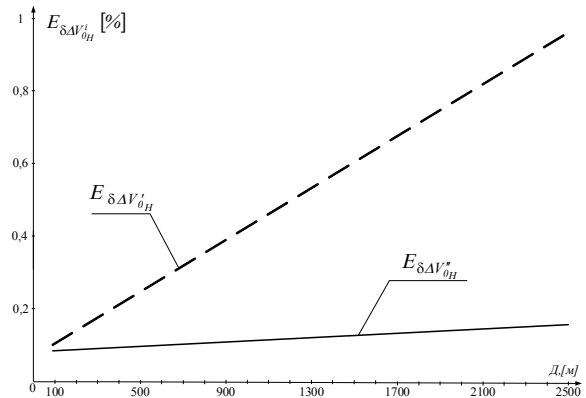
$E_{\Delta h_0}, E_{\Delta \tau}, E_{\Delta w_x}, E_{\Delta q_c}$ – серединні помилки, що характеризують відхилення швидкості снаряда, температури повітря, швидкості вітру, балістичного коефіцієнта, температури заряду від табличної, маси снаряда та визначаються відповідно до [8];

$E_{\delta_{\Delta h_0}}, E_{\delta_{\Delta \tau}}, E_{\delta_{\Delta w_x}}, E_{\delta_{\Delta q_c}}, E_{\delta_{\Delta T_3}}$ – серединні помилки, що характеризують точність визначення відхилення швидкості снаряда, температури повітря, швидкості вітру, балістичного коефіцієнта, температури заряду від табличної, маси снаряда [8].

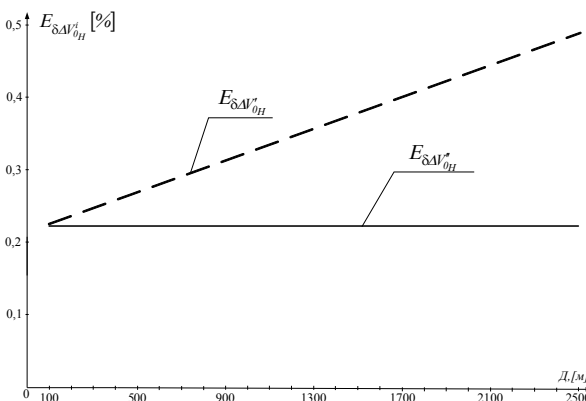
Результати розрахунків серединної помилки методу нормалізації вимірюваної швидкості існуючим методом, який враховує тільки відхилення початкової швидкості снаряда в залежності від відхилення температури заряду та маси снаряда, відповідно зміна тиску атмосфери, температури повітря, швидкості вітру, балістичного коефіцієнта приймається рівним їх математичним очікуванням – $M_{\Delta h_0}, M_{\Delta \tau}, M_{\Delta w_x}, M_{\Delta q_c}$, тобто не враховує їх відхилення від значень, наведених в таблицях стрільби, та методом, який враховує всі вище зазначені балістичні і метеорологічні фактори для 152-мм СГ 2С3М снаряд ОФ-540Ж, 122-мм Г Д-30 снаряд ОФ-462Ж, надані на рис. 2.



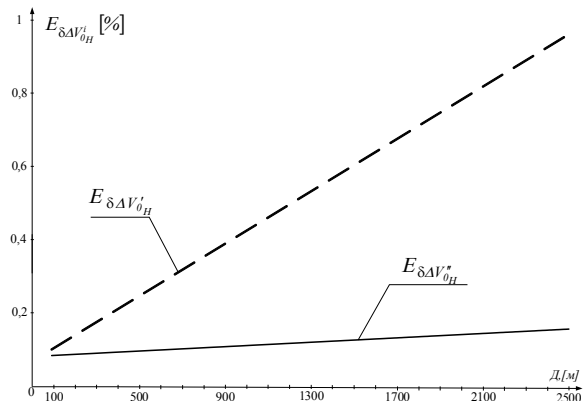
а – 152-мм СГ 2С3М ОФ-540Ж, заряд повний



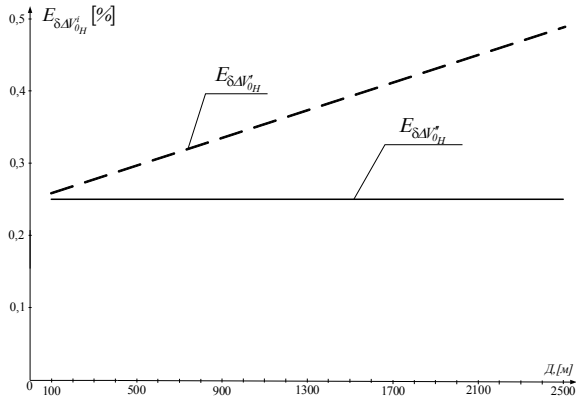
б – 122-мм Г Д-30 ОФ-462Ж, заряд повний



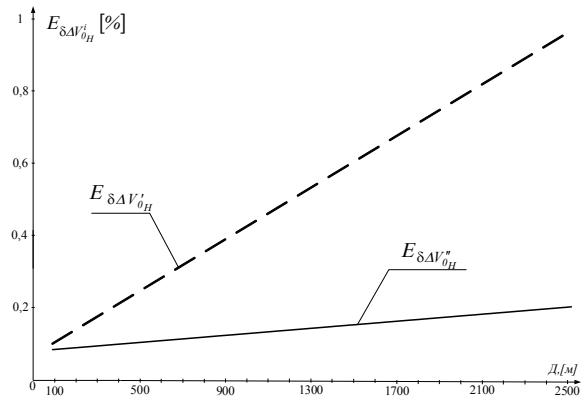
в – 152-мм СГ 2С3М ОФ-540Ж, заряд третій



г – 122-мм Г Д-30 ОФ-462Ж, заряд другий



д – 152-мм СГ 2С3М ОФ-540Ж, заряд шостий



ж – 122-мм Г Д-30 ОФ-462Ж, заряд четвертий

Рис. 2. Серединна помилка нормалізації вимірної швидкості польоту снаряда

З наведених графіків видно, що при стрільбі з 152-мм СГ 2С3М серединні помилки методу нормалізації за (23), на дальностях 1800 – 2500 м, складають 0,37 – 0,48 % V_0 , за (24) – 0,19 – 0,2 % V_0 для повного заряду та відповідно 0,25 – 0,49 % V_0 і 0,18 – 0,2 % V_0 для шостого.

При стрільбі 122-мм Г Д-30 серединні помилки складають: відповідно – 0,62 – 0,94 % V_0 та 0,12 – 0,17 % V_0 для повного заряду та 0,62 – 0,96 % V_0 і 0,19 – 0,20 % V_0 для четвертого.

3. Оцінка точності визначення сумарного відхилення початкової швидкості снаряда при різних методах її приведення та нормалізації. Помилки визначення початкової швидкості за допомогою БС залежать від:

- інструментальної помилки БС (серединна помилка вимірювання $E_{\delta V_{0\text{вим}}}$);
- розкиду початкових швидкостей від вистрілу до вистрілу внаслідок неоднорідності зарядів і снарядів (серединна помилка розсіювання снарядів r_{v_0});
- помилки методу приведення вимірної швидкості снаряда до дульного зрізу (серединна помилка методу приведення $E_{\delta \Delta V_{0\text{д}}}$);
- помилки приведення вимірної швидкості снаряда до табличних умов (серединна помилка нормалізації $E_{\delta \Delta V_{0\text{н}}}$).

Тоді серединна помилка сумарного відхилення початкової швидкості снаряда визначається за залежністю:

а) при вимірюванні швидкості польоту снаряда з АБС-1м

$$E_{\delta \Delta V'_{0\text{сум}}} = \sqrt{E_{\delta V'_{0\text{вим}}}^2 + E_{\delta \Delta V_{0\text{д}}}^2 + E_{\delta \Delta V_{0\text{н}}}^2 + \frac{r_{v_0}^2}{n}}, \quad (25)$$

де $E_{\delta V'_{0\text{вим}}}$ – інструментальна помилка вимірювання швидкості снаряда за допомогою АБС-1м [1];

б) при вимірюванні швидкості польоту снаряда за допомогою перспективної БС

$$E_{\delta \Delta V'_{0\text{сум}}} = \sqrt{E_{\delta V'_{0\text{вим}}}^2 + E_{\delta \Delta V_{0\text{д}}}^2 + E_{\delta \Delta V_{0\text{н}}}^2 + \frac{r_{v_0}^2}{n}}, \quad (26)$$

де $E_{\delta V'_{0\text{вим}}}$ – інструментальна помилка вимірної швидкості снаряда за допомогою перспективної балістичної станції [1]; n – число засічек вистрілів; r_{v_0} – коефіцієнт розсіювання швидкості снаряда, визначається з Таблиць стрільби для відповідної системи, снаряда та заряду [9, 10].

Результати розрахунків серединної помилки визначення сумарного відхилення початкової швидкості снаряда при різних методах її приведення та нормалізації для 152-мм СГ 2С3М снаряд ОФ-540Ж, 122-мм Г Д-30 снаряд ОФ-462Ж надані на рис. 3.

Наведені залежності показують, що при стрільбі з 152-мм СГ 2С3М серединні помилки сумарного відхилення початкової швидкості польоту снаряду при вимірюванні швидкості польоту снаряда з АБС-1м, на дальностях 1800 – 2500 м, складають 0,81 – 1 % V_0 , перспективною БС – 0,23 – 0,24 % V_0 , для повного заряду та відповідно 1,56 – 1,9 % V_0 і 0,23 – 0,24 % V_0 для шостого.

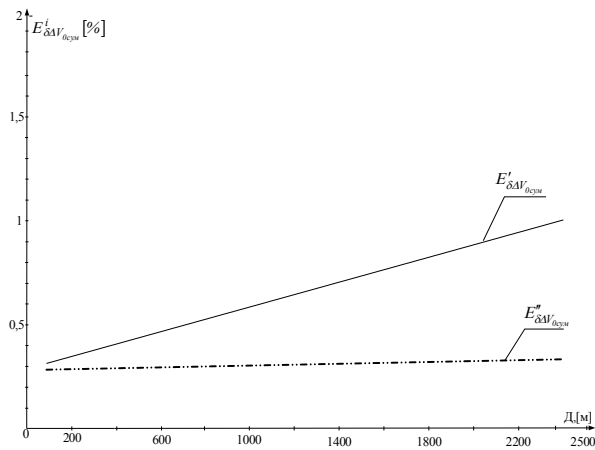
При стрільбі 122-мм Г Д-30, серединні помилки визначення сумарного відхилення початкової швидкості снаряда при різних методах її приведення та нормалізації складають: відповідно – 1-1,2 % V_0 та 0,18-0,20 % V_0 для повного заряду, 1,57-2,08 % V_0 та 0,23-0,24 % V_0 для четвертого.

Висновки

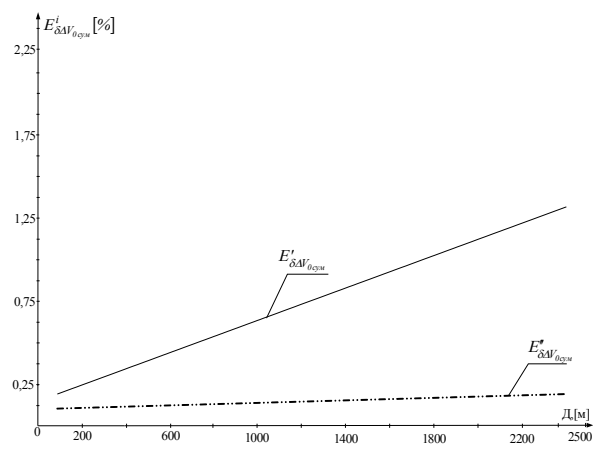
В статті проведена оцінка точності визначення відхилення початкової швидкості снаряда при різних методах її приведення та нормалізації. Запропоновані аналітичні залежності оцінки точнос-

ті приведення та нормалізації вимірюваної початкової швидкості польоту снаряда, проведені розрахун-

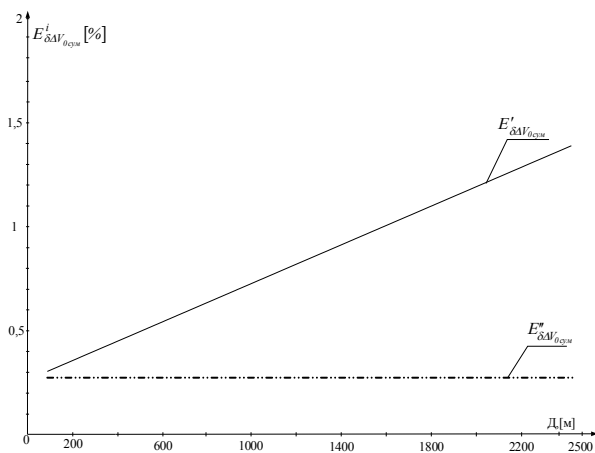
ки серединних помилок цих методів на дальностях до 2500 м.



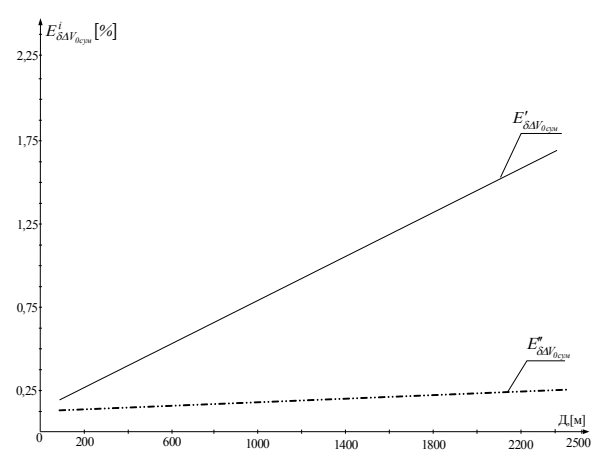
а – 152-мм СГ 2С3М, ОФ-540Ж, заряд повний



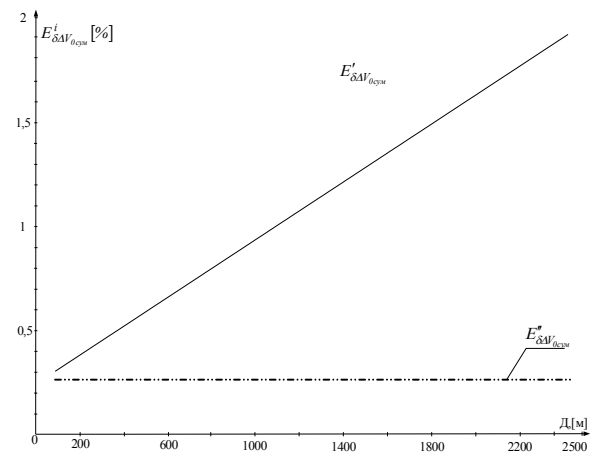
б – 122-мм Г Д-30, ОФ-462Ж, заряд повний



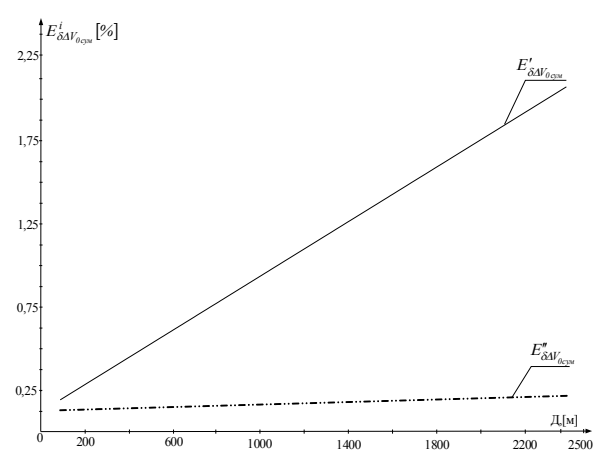
в – 152-мм СГ 2С3М, ОФ-540Ж, заряд третій



г – 122-мм Г Д-30, ОФ-462Ж, заряд другий



д – 152-мм СГ 2С3М, ОФ-540Ж, заряд шостий



ж – 122-мм Г Д-30, ОФ-462Ж, заряд четвертий

Рис. 3. Серединна помилка сумарного відхилення початкової швидкості польоту снаряда

Результати розрахунків показали, що:

– помилки методу приведення вимірюваної швидкості до дульного зрізу ствола гармати, при апроксимації початкової швидкості польоту снаряда, при апроксимації швидкості польоту снаряда поліномом 2-го ступеня в середньому на один – два

порядки менші за помилки апроксимації лінійним поліномом;

– під час вимірювання швидкості польоту снаряда використання сучасного методу нормалізації не повною мірою враховує вплив відхилень метеорологічних і балістичних умов стрільби від табличних,

що призводить до значних помилок у визначенні початкової швидкості снаряда $0,24 \pm 0,92\% V_0$, що значно знижує точність визначення сумарного відхилення початкової швидкості польоту снаряда;

–точність визначення сумарного відхилення початкової швидкості польоту снаряда при застосуванні методу приведення, заснованому на апроксимації швидкості польоту снаряда поліномом 2-го ступеня, та методу нормалізації з врахуванням балістичних та метеорологічних умов стрільби буде складати $0,15 \pm 0,25\% V_0$, що є достатнім для визначення установок для стрільби способом повної підготовки, за умов застосування методів приведення і нормалізації вимірної швидкості, що застосовується в існуючій АБС-1м, буде складати $0,17 \pm 2,01\% V_0$, що суттєво впливає на точність визначення сумарного відхилення початкової швидкості польоту снаряда.

Список літератури

1. Балістична підготовка стрільби / П.В. Полянця, В.В. Авраменко, В.В. Серпокрилов, Р.Ю. Михайлик. – Суми: ВІА СумДУ, 2001. – 124 с.
2. Грабчак В.І. Джерела помилок та їх вплив на точність повної підготовки стрільби артилерії / В.І. Грабчак, В.В. Прокопенко, Ю.І. Бударецький // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС. – 2011. – Вип. 3 (27). – С. 2-7.
3. Грабчак В.І. Оцінка впливу різних джерел помилок на точність балістичної підготовки стрільби артилерії / В.І. Грабчак, В.В. Прокопенко // Збірник наукових праць. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ. – 2011. – Вип. 21 (43). – С. 54-62.
4. Макеев В.І. Дослідження впливу нутаційних коливань снарядів (мін) на дальність їх польоту / В.І. Макеев, В.І. Грабчак, В.В. Прокопенко, Ю.І. Кучерявенко // Військово-технічний збірник. – Львів: ЛІСВ. – 2010. – Вип. 3. – С. 59-65.
5. Макеев В.І. Дослідження методів приведення та нормалізації вимірної швидкості польоту снарядів / В.І. Макеев, В.І. Грабчак, В.В. Прокопенко // Збірник наукових праць Академії військово-морських сил ім. П.С. Нахімова. – Севастополь: АВМС ім. Нахімова. – 2010. – Вип. 1(1). – С. 18-25.
6. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей / Б.В. Гнеденко. – М.: Наука. – 1988. – 448 с.
7. Четыркин Е.М. Вероятность и статистика / Е.М. Четыркин, И.Л. Калихман. – М.: Финансы и статистика. – 1982. – 319 с.
8. Теоретические основы стрельбы наземной артиллерии / под ред. А.С. Круковского. – М.: Министерством обороны СССР, 1976. – 345 с.
9. Таблицы стрельбы 152-мм самоходной гаубицы 2С3 (2С3М) / [авт. текста Н.П. Рослова]. – М.: Воен. издательство. 1984. – 216с.
10. Таблицы стрельбы 122-мм гаубицы Д-30 / [авт. текста Р.А. Кулаковский]. – М.: Воен. издательство. 1984. – 224с.

Надійшла до редколегії 19.07.2012

Рецензент: д-р техн. наук, ст. наук. співробітник А.М. Зубков, Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, Львів.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МЕТОДА ПРИВЕДЕНИЯ И НОРМАЛИЗАЦИИ ИЗМЕРЕННОЙ СКОРОСТИ ПОЛЕТА СНАРЯДА

В.И. Грабчак, В.В. Прокопенко

В статье приведена оценка точности определения изменения начальной скорости снаряда при различных методах ее приведения и нормализации. Предложены аналитические зависимости оценки точности методов приведения и нормализации измерения начальной скорости полета снаряда, которые позволяют провести расчеты средних ошибок этих методов при определении установок для стрельбы способом полной подготовки. Приведены результаты расчетов средней ошибки отклонения начальной скорости и суммарного отклонения начальной скорости полета снаряда при различных методах ее приведения и нормализации для 152-мм СГ 2С3М и 122-мм Г Д-30.

Ключевые слова: баллистическая станция, методы приведения и нормализации, срединные ошибки, суммарное отклонение начальной скорости полета снаряда.

ESTIMATION OF EXACTNESS OF METHOD OF ADDUCTION AND NORMALIZATION OF THE MEASURED SPEED FLIGHT OF SHELL

V.I. Grabchak, V.V. Prokopenko

In the article the estimation of exactness of determination of change initial velocity of shell is resulted at the different methods of its adduction and normalization. Analytical dependences of estimation of exactness of methods of adduction and normalization of measuring of initial velocity of flight of shell are offered, which allow to conduct the calculations of middle errors of these methods at determination of options for firing of complete preparation a method. The results of calculations of middle error of rejection of initial velocity and total rejection of initial velocity of flight of shell are resulted at the different methods of its adduction and normalization for 152-мм SG 2С3М and 122-мм Γ of D-30.

Keywords: ballistic station, methods of adduction and normalization, middle errors, total rejection of initial velocity of flight of shell.